

CONTRIBUIÇÃO DE BIM PARA A SEGURANÇA LABORAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

BIM CONTRIBUTION TO LABOR SAFETY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: A SYSTEMATIC REVIEW OF REVIEW

Lisseth Rocio Espinoza Taype ¹

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, rocioespinozataype@gmail.com

Eloisa Dezen-Kempton ²

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, elo@ft.unicamp.br

Resumo

Entre os anos de 2012 e 2017 foram registrados no Brasil quase 97 mil acidentes laborais na indústria da construção civil. Esse é um índice significativo, se comparado com outras indústrias. Tais dados revelam que a segurança desses trabalhadores requer uma mudança de abordagem, desde a fase de planejamento até a de execução, incluindo o uso de novas tecnologias, processos e metodologias. Nesse sentido, a adoção de *Building Information Modeling* (BIM) mostra-se como uma possível e efetiva resposta a tal conjuntura. Esse trabalho tem por objetivo apresentar os resultados de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) acerca do entendimento de BIM no tocante à segurança laboral na indústria da construção civil, assim como sua aplicação. Para tanto, foi levantado estado da arte de abordagens e tecnologias empregadas na área de segurança laboral, bem como lacunas que abrem espaço para futuras pesquisas nesta área. O trabalho considerou o período de 2007 a 2019 e foi conduzido a partir da metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). A sistematização dos dados ficou a cargo do software StArt. Chegou-se então ao número de 97 estudos que cumpriram os critérios estabelecidos para seleção. Os resultados foram categorizados de forma a identificar-se o emprego de tecnologias e processos associados ao BIM. Por fim, 28 dentre os 97 artigos confirmaram que uma tendência atual é identificar precocemente os riscos, principalmente no processo de projeto colaborativo. Portanto, a relevância deste trabalho consiste em apresentar um panorama mundial, mostrando possibilidades de desenvolvimento de pesquisas futuras.

Palavras-chave: Building Information Model. Segurança no trabalho. Construção. Riscos ocupacionais. Tecnologias.

Abstract

Between the years of 2012 and 2017, there were almost 97,000 accidents in Brazil in the construction industry. This is a significant quantity compared to other industries. These data reveal that the safety of the construction employees requires a change of approach, from the design phase through to the execution phase, including the use of new technologies, processes, and methodologies. In this sense, the adoption of *Building Information Modeling* (BIM) shows itself as a possible and effective response to such circumstances. This paper aims to present the results of a Systematic Literature Review (RSL) about the understanding of BIM regarding labor safety in the construction industry, as well as its application. To this end, the state of the art about the approaches and technologies employed in the area of occupational safety were raised, as well as gaps that open space for future research in this area. The paper considered the period from 2007 to 2019 and was conducted using PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). The data was systematized by StArt software. We reached the number of 97 studies that met the selection criteria. The results were categorized in order to identify the use of technologies and processes associated with BIM. Finally, 28 of the 97 articles confirmed a current tendency to identify risks early, especially in the collaborative project process. Therefore, the relevance of this work is to present a global panorama, showing alternatives to develop future research.

Keywords: Building Information Model. Safety, Construction. Occupational risks. Technologies.

How to cite this article:

ESPINOZA TAYPE, L.; DEZEN-KEMPTER, E. Contribuição de BIM para a segurança laboral na construção civil: uma revisão sistemática de literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p. e020002, 14 mar. 2020.

DOI:<https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8653811>

Introdução

A indústria da construção civil é marcada por alguns traços negativos, como a baixa produtividade, custos/tempo excessivos, escassez de mão-de-obra qualificada e pouca segurança no trabalho. A falta de segurança no trabalho é um problema crescente, mesmo quando existem normas e profissionais que exigem o seu cumprimento (ZULKIFLI; TAKIM; NAWAWI, 2016).

No Brasil, procedimentos, dispositivos e atitudes a serem observados durante a execução das atividades em canteiros de obras são regulamentados pela NR-18 (BRASIL, 1978)¹, que estabelece diretrizes para medidas de controle, sistemas de prevenção de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na indústria da construção civil.

Nowotarskia, Paślawska e Mielcareka (2017a) destacam que a indústria da construção é conhecida como uma das indústrias com maior número de acidentes com morte. O Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho - OSST (SMARTLAB, 2017) aponta que:

- A cada 48 segundos, um trabalhador sofre um acidente de trabalho.
- Em apenas cinco anos, o Brasil teve 97 mil trabalhadores acidentados durante o trabalho.
- Estima-se 1 morte em acidente a cada 3h 43m 42s.
- Por mais que os números sobre a indústria civil brasileira sejam assustadores, a mesma encontra-se na quarta posição de indústria mais letal, disputando o pódio com o atendimento hospitalar, comércio atacadista e administração pública.

A falta de harmonia entre o plano de segurança, o planejamento de execução da obra, e os métodos construtivos impedem uma execução saudável de uma obra, resultando em falhas (GETULI et al., 2017). Segundo a ISO45001:2018 (ABNT, 2018), o plano de segurança trata do conjunto de ações preventivas e de materiais de uso pessoal necessários para que a atividade laboral seja segura, tendo a devida supervisão de um engenheiro de segurança. Kiviniemi (2011) aponta o plano de segurança como fundamental no planejamento da execução das obras, realizando a integração do planejamento de segurança com o fluxo de trabalho. Neste contexto, a colaboração e comunicação entre os profissionais que fazem parte da equipe de uma obra, inclusive gestores de segurança e pedreiros, é fundamental para que o método de construção e o cronograma da obra tornem o planejamento de segurança mais inteligente e eficaz (ZHANG; 2012; GETULI, 2017).

O uso de métodos tradicionais como desenhos 2D, diagramas e *Checklist* de normas de segurança em papel, tornam a observação do supervisor de segurança exaustiva, dificultando a identificação de todos os perigos potenciais de uma área de trabalho no mesmo instante que acontecem (KASIROSSAFAR; HAHBODAGHLOU, 2013; ZHANG et al., 2015a; CHOE; LEITE, 2017). Portanto, para dar suporte à gestão da segurança, técnicas de análise têm sido propostas, no entanto, permanecem sendo desenvolvidas manualmente e de forma estatística (ALAEDDINI; DOGAN, 2011).

Por outro lado, o uso de *Building Information Modeling* (BIM) vem sendo incorporado em diferentes setores da construção civil, adquirindo relevância na programação, controle de custos, gestão da qualidade, entre outros (SULANKIVI; MÄKELÄ; KIVINIEMI, 2009; KASIROSSAFAR e SHAHBODAGHLOU, 2013). Nos últimos anos, BIM passou a ser

introduzido na segurança no trabalho a partir do desenvolvimento de aplicativos específicos para isso (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Kasirossafar e Shahbodaghlou (2013) e Ahmad, Thaheem e Maqsoom (2018) mencionam que a integração da segurança no trabalho tradicional com as novas tecnologias de gestão é praticamente inexistente. No entanto, para Zulkifli, Takim e Nawaw (2016) entre os usos do BIM que poderiam suportar essa integração está a simulação 4D, visando mitigar os riscos na fase de projeto. Além disso, Sulankivi, Mäkelä e Kiviniemi (2009) citam que a implementação de novas tecnologias na gestão da segurança é uma oportunidade para incluir também a gestão de produção.

Tendo em vista esse contexto, a presente pesquisa se propõe a realizar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre avanços de BIM na área de segurança no trabalho. O objetivo é mapear o desenvolvimento existente de abordagens metodológicas e tecnologias BIM empregadas para diminuir a quantidade de acidentes na construção civil e desta forma, também, identificar lacunas para futuras pesquisas nesta área.

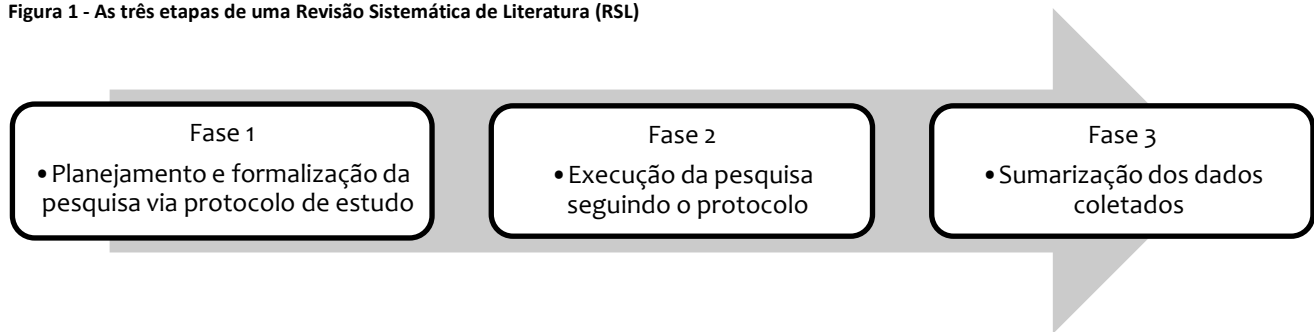
Materials e Métodos

Uma RSL procura estabelecer um levantamento formal do estado da arte de forma consistente e planejada. Além disso, visa implementar critérios para seleção de pesquisas que possam ser úteis e trazer informações relevantes sobre o assunto em estudo. Ademais, uma RSL é uma estratégia para reduzir predisposições e erros aleatórios que podem ocorrer em uma revisão tradicional (URRA MEDINA; BARRIA PAILAQUILEN, 2010). Segundo Gough, Oliver e Thomas (2017) uma RSL consiste na identificação e descrição de pesquisas anteriores; avaliação sistemática de pesquisas seguindo protocolos rigorosos; e coleta sintética e coerente de evidências no universo de pesquisas selecionado.

Ferramentas facilitadoras para a realização da RSL têm sido empregadas, como o fluxograma de informação *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), conforme descrição de Moher e Shamser (2015), e o *Software State of the Art through Systematic Review* (StArt) criado exclusivamente para revisões sistemáticas. O StArt foi desenvolvido no Brasil pelo Laboratório de Engenharia e Software da Universidade Federal de São Carlos disponível em http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool. Neste trabalho, o fluxograma PRISMA foi utilizado como um guia para a seleção de pesquisas e o StArt auxiliou na organização dos dados facilitando o processo laborioso e repetitivo de uma RSL.

As três fases essenciais da RSL estão ilustradas na Figura 1, sendo efetuadas sequencialmente e por vezes de forma interativa, com o objetivo final de que o protocolo guie fielmente a execução do estudo incluindo todos os ajustes ocorridos no processo (MUNZLINGER; NARCIZO; QUEIROZ, 2012).

Figura 1 - As três etapas de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL)



Fonte: baseado em Munzlinger, Narcizo e Queiroz (2012, p. 52).

Fase1: Planejamento e Formalização da Pesquisa

Com a intenção de aprofundar e contextualizar como BIM vem sendo implementado na gestão da segurança do trabalhador, foram identificados estudos primários (KAMARDEEN, 2010; SULANKIVI, MELZNER, ZHANG ,2013; ZHANG, 2015; KIM, MALEKITABAR, 2016 e ZOU, 2017). Esses estudos foram essenciais para uma análise preliminar, servindo como uma fonte de informação para identificar palavras-chave, definir objetivos e estabelecer as perguntas de pesquisa para orientar a RSL. Com essas informações, definiu-se o protocolo de pesquisa apresentado no Quadro 1.

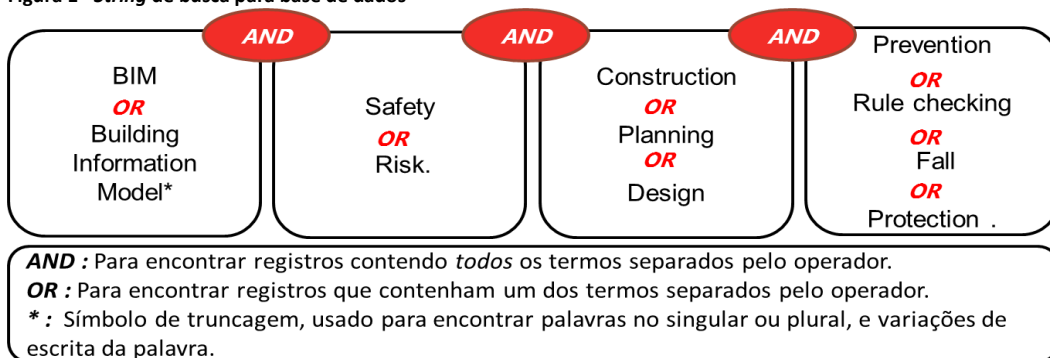
Quadro 1 - Protocolo de Pesquisa

Item	Conteúdo
Objetivos	Levantamento do estado da arte sobre a aplicação de BIM na segurança no trabalho, através da revisão e análise de publicações científicas.
Resultados	Obter quais são as áreas de estudo existentes e quais ainda não foram estudadas dentro da segurança na construção em um ambiente BIM.
Palavras-Chave (String de Busca)	<i>(BIM OR "Building Information Model*") AND (safety OR Risk) AND (construction OR planning OR design) AND (prevention OR "rule checking" OR fall OR protection).</i>
Idioma	Inglês, Espanhol, Português.
Base de Dados	Proquest, Engineering Village, Science Direct, Scielo, Scopus, Web of Science, BDTD, CAPES.
Critérios de Inclusão	(I) 2007- 2019; (I) Arquitetura e Construção Civil; (I) Inglês, espanhol, português; (I) Usam tecnologias; (I) Usa BIM.
Critérios de Exclusão	(E) Texto indisponível; (E) Outras áreas (medicina, ambiental, informática e outras); (E) Educacional, (E) Segurança contra incêndios; (E) Não inclui segurança no trabalho; (E) Estudos de Revisão; (E) Não propõem uso de tecnologias relacionadas ao BIM como solução.
Questões de Pesquisa	Quais são os problemas em relação à segurança do trabalhador na indústria civil já abordados com BIM? Quais são os métodos e as tecnologias usadas para gerenciar riscos de acidente no trabalho com BIM? Quais são as oportunidades para pesquisas futuras

Fonte: As autoras.

A Figura 2 apresenta a combinação das palavras-chave em strings de busca. Essa busca foi realizada nos campos "title/ Abstract/Keyword", pretendendo-se eliminar artigos que não mencionam a segurança do trabalhador, tratando apenas de outros tipos de segurança, como, por exemplo, segurança estrutural, riscos financeiros, entre outros. Além disso, a string de busca foi adaptada para cada uma das bases de dados selecionadas citadas no Quadro 1.

Figura 1 - String de busca para base de dados



Fonte: As autoras.

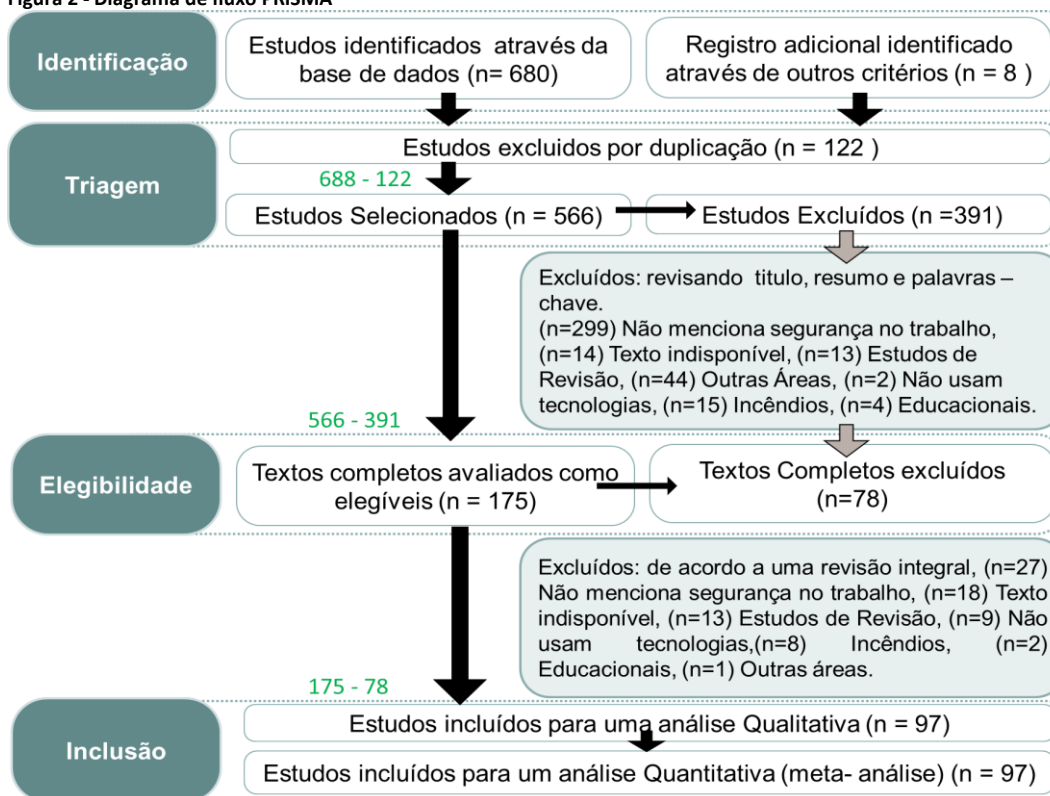
O intervalo temporal definido foi de 2007 a 2019. A escolha do período foi baseada no estudo de Yalcinkaya e Singh (2015), no qual afirmam que não existem estudos relacionando BIM e gerenciamento de segurança antes do ano 2007.

Fase 2: Execução da pesquisa

Após calibração e adaptação da *string* de busca para as diferentes bases de dados e realizadas as buscas, foram encontrados 680 trabalhos, os quais foram importados para o StArt e mais 8 foram adicionados por meio de uma busca manual, somando-se um total de 688 estudos. A Figura 3 apresenta o processo baseado no fluxograma PRISMA para a identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos artigos encontrados na busca, resultando numa amostra de 97 referências bibliográficas para revisão.

Na etapa de **Triagem** o filtro utilizado é baseado no título, resumo e palavras-chave. Enquanto que na etapa de **Elegibilidade** os artigos passam por uma leitura integral.

Figura 2 - Diagrama de fluxo PRISMA



Fonte: Adaptação do Processo do sistema de Revisão (PRISMA *flow diagram*).

Fase 3: Sumarização dos dados coletados

Como última fase, análises quantitativa e qualitativa foram elaboradas mediante uma leitura integral dos 97 estudos. Os artigos foram agrupados segundo os seguintes critérios quantitativos: ano de publicação; país de publicação; origem dos autores; Autores por continente; palavras-chave com maior frequência.

A análise qualitativa buscou classificar os artigos por categorias, objetivando evidenciar o foco das pesquisas desenvolvidas entre 2007 e 2019. A categorização considerou a semelhança na problemática abordada, padrões e tendências entre o universo de artigos da RSL. Foram observados: problemática abordada, aplicação de tecnologias associadas ao BIM, e sugestões de pesquisas futuras.

Análise Quantitativa

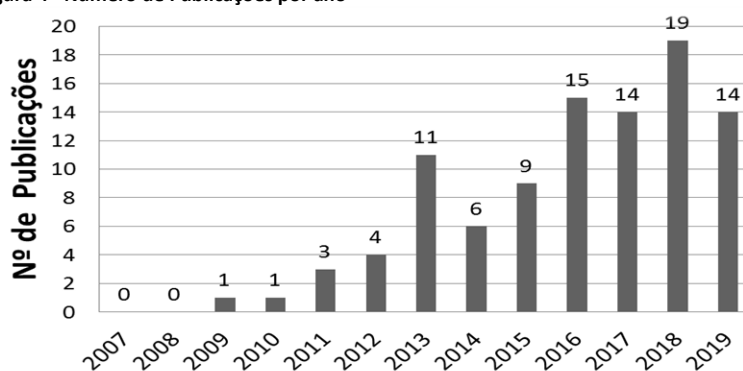
Classificação dos artigos por ano de publicação

A classificação dos artigos por ano de publicação está representada na Figura 4. Observa-se um aumento crescente das publicações abordando BIM e segurança do trabalho a partir de 2011-2012. No entanto, é importante destacar que houve um crescimento de publicações não somente relacionando BIM à segurança, mas BIM em geral, tanto internacionalmente (GASPAR; RUSCHEL, 2017; SANTOS et al., 2017; HOSSEINIETAL et al., 2018) como nacionalmente (MACHADO; RUSCHEL; SCHEER, 2017).

A RSL também constatou picos nos anos de 2013 (11 artigos), com quase o triplo de publicações com relação ao ano anterior, e em 2016 (15 estudos) e 2018 (19 estudos). As publicações de 2013 abordam principalmente o uso de verificação de regras, identificadores de risco, e percebe-se o surgimento de uma preocupação com a relação entre produtividade do trabalho e segurança do trabalhador, presente nos artigos de Zhang (2013) e Forman (2013), entre outras grandes contribuições ao tema.

Não se encontraram publicações nos anos 2007 e 2008, embora Yalcinkaya e Singh (2015) mencionem o contrário. Isso pode ser justificado pelo fato de algumas publicações não cumprirem com os critérios definidos no protocolo de seleção.

Figura 4 - Número de Publicações por ano



Fonte: As autoras.

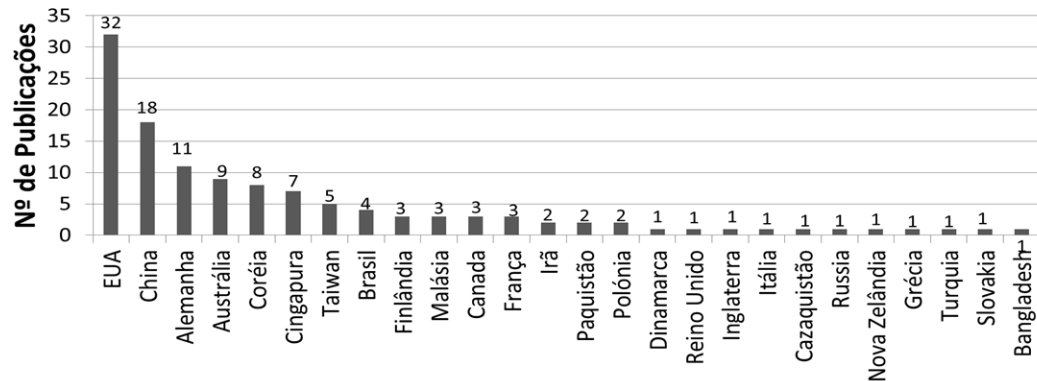
Observa-se uma tendência de crescimento no número de publicações. Assim, pode-se constatar o aumento do interesse em pesquisas de BIM e segurança no trabalho.

Número de Publicações por país

A Figura 5 mostra o número de artigos segundo o país de publicação, considerando o país no qual a revista ou congresso está sediado. É nítido o destaque dos EUA com 32 publicações (33% do total pesquisado), seguidos pela China e Alemanha, em segundo e

terceiro lugar respectivamente. Observa-se também que o Brasil possui 4 publicações sobre BIM aplicado à segurança do trabalhador, ficando na oitava posição de 26 países, destacando-se por ser o único país com publicações na América Latina.

Figura 5 - Número de publicações por país

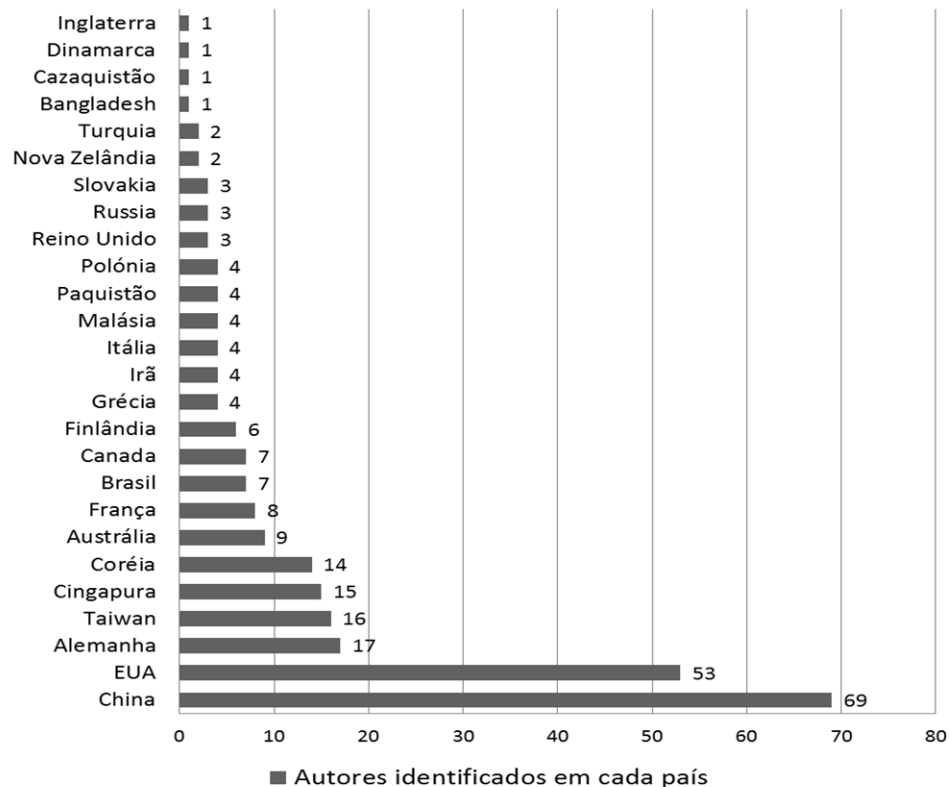


Fonte: As autoras.

País de origem das instituições que os autores estão vinculados

A Figura 6 mostra o número de autores identificados em cada país, onde há claramente maior interesse na pesquisa sobre segurança do trabalhador e BIM de autores sediados em universidades e instituições na China e nos EUA, com 69 e 53 autores respectivamente. A diferença de posição com a análise regional anterior está fundamentada no número de autores que cada estudo tem em relação aos outros.

Figura 6 - País de origem da instituição que os autores estão vinculados

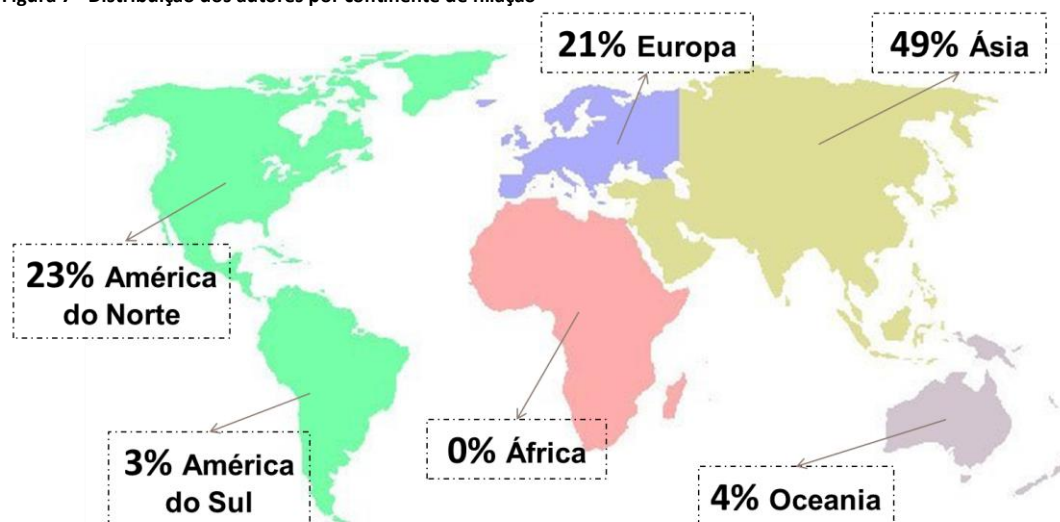


Fonte: As autoras.

Autores por continente

Nota-se o destaque da Ásia com 49% dos autores, seguido pela América do Norte e pela Europa, com 23% e 21% respectivamente (Figura 7). No entanto, os EUA se destacam em número de publicações e de autores. Considerando a China e os outros países de seu continente, aumenta-se força de pesquisa da Ásia.

Figura 7 - Distribuição dos autores por continente de filiação



Fonte: Fonte: As autoras.

Palavras chave com maior frequência

A Tabela 1 apresenta as palavras-chave com maior frequência (retirando as ocorrências de “BIM” e “Building Information Modeling” da análise). Desta forma, observa-se o destaque a “Architectural Design” com 50%, sendo uma evidência da ênfase dos artigos na fase de inicialização e planejamento. As palavras-chave “construction safety” (35%) e “construction industry” (29%) aparecem com frequência, enfatizando a fase da obra, aparentando um equilíbrio na preocupação com a segurança do trabalhador. As demais temáticas abordadas são, quedas, perigo e risco ocupacional.

Tabela 1 - Palavras-chave com maior frequência

Nº	Keywords	Frequência
1	Architectural design	50%
2	Accident prevention	44%
3	Construction safety	35%
4	Construction Industry	29%
5	Fall	26%
6	Hazards	26%
7	Safety engineering	18%
8	Occupational risks	16%

Fonte: Autoria própria.

Análise Qualitativa

Categorias e principais problemas abordados

Foram identificadas 15 categorias de problemas abordados pelos autores (Quadro 2). É importante esclarecer que o mesmo artigo pode relacionar-se em mais de uma categoria de problema, por esse motivo, a soma dos elementos do Quadro 3 não é 97. Por outro lado, o percentual indica a relação de artigos dentro de uma categoria com o número total de artigos.

Quadro 2 - Número de artigos por categorias, e principais problemas abordados pelos autores

Nº	Categoria	Cant.	%	Referências	Principais problemas abordados
1	Identificação de Riscos	25	26	[8] [15] [17] [27] [31] [39] [41] [53] [54] [55] [57] [58] [59] [62] [41] [70] [71] [72] [79] [81] [82] [83] [92] [93] [96]	Falta de dados verídicos para o planejamento de segurança. Atenuação acerca da verdadeira seriedade dos riscos de queda. Não existência de um método eficiente para a verificação das medidas de segurança. Carência de monitoramento automatizado em segurança. Carência de análises efetivas das operações de construção no âmbito de atividade. Existência de potenciais de deslizamento de terra, tornando as atividades de escavação mais perigosas; Escassez de formas de medição do rendimento da segurança.
2	Prevenção através do Desenho (PtD)/Desenho para a Segurança (Dfs)	15	15	[4] [9] [26] [32] [34] [35] [36] [37] [38] [40] [65] [66] [67] [77] [89]	Falta de eficiência na implementação do Dfs, o qual é um enfoque eficaz para a segurança da construção; Limitação do conhecimento dos projetistas, podendo afetar a segurança da construção; Escassez de métodos de análises e de controle de riscos para avaliar o grau do risco de segurança para diferentes opções de projeto; Escassez de ferramentas que coloquem o projeto da segurança em prática.
3	Quedas	10	10	[18] [19] [21] [25] [47] [52] [56] [75] [84] [85]	Escassez de casos aplicáveis para verificação automática de normas de segurança; não utilização do prendedor de segurança pelos trabalhadores, seja intencionalmente ou por esquecimento; Dependência da inspeção de segurança das condições e comportamentos, os quais em grande medida estão atrelados aos esforços humanos, que muitas vezes são limitados.
4	Monitoramento de segurança	10	10	[11] [12] [13] [24] [42] [47] [61] [63] [69] [87]	Dificuldade em reconhecer as situações inseguras em ambientes dinâmicos. Limitação do monitoramento através de sensores para trabalhos com escavação e operação de maquinário pesado
5	Verificação de regras	7	7	[23] [56] [73] [86] [90] [91] [97]	Dependência da tecnologia obsoleta do 2D em papel para a execução da planificação tradicional; Limitação de ferramentas BIM para verificar cláusulas das normas de segurança.
6	Espaços de trabalho	6	6	[31] [41] [46] [60] [64] [93]	Proximidade do maquinário com os trabalhadores; Necessidade de modelos 4D e o desenvolvimento de ferramentas de modelagem, assim como biblioteca de objetos, registro e armazenamento de dados dos espaços de trabalho.
7	Reutilização do conhecimento de risco	6	6	[1] [5] [14] [80] [94]	Escassez de pesquisas que combinem BIM, ontologia e tecnologia semântica para a gestão de riscos da construção.
8	Comportamentos inseguros	6	6	[2] [3] [29] [48] [49] [51]	Escassez de pesquisas sobre o comportamento dos trabalhadores.
9	Estruturas temporárias	5	5	[10] [43] [44] [45] [95]	Omissão das estruturas temporais dos projetos.
10	Maquinários	5	5	[6] [7] [20] [28] [33]	Distração do operador de grua. Limitação da visibilidade do operador da grua.
11	Produtividade	4	4	[22] [74] [77] [78]	Deficiência da segurança e rendimento da produtividade. Não incorporação dos parâmetros de produtividade e segurança combinados
12	Uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI)	3	3	[16] [50] [61]	Supervisão e monitoramento de uso de capacete de segurança; Ineficiências dos métodos para detectar se os trabalhadores usam o EPI de forma correta.
13	Fatores de risco	3	3	[10] [30] [60]	Identificação dos fatores que produzem acidentes de trabalho.
14	Capacitação	2	2	[52] [88]	Escassez de oportunidades para capacitação e aquisição de experiência prática.
15	Espaços confinados	2	2	[64] [68]	Ocorrência de mortes e lesões graves em espaços fechados devido à exposição a fatores de risco.

Fonte: As autoras.

O foco de 26% dos artigos está no desenvolvimento de soluções para a **identificação de riscos**, o que era esperado considerando que os autores utilizam modelos 4D, localização em tempo real, GPS e outras tecnologias como soluções. Artigos que abordam **Prevention trough Design (PtD) e Design for Safety (Dfs)** representam 15%, do universo estudado. Esse tema considera a segurança durante o período de desenvolvimento do projeto, sendo que o objetivo principal é minimizar o não cumprimento de segurança durante a fase de projeto, informando e orientando os projetistas sobre as opções de projeto e práticas alternativas para reduzir situações

perigosas na fase de construção, além de verificar o projeto e retificar não cumprimento em uma situação específica (QI et al., 2014).

As **quedas** constituem uma abordagem significativa, representando o problema abordado em 10% das referências bibliográficas da amostra desta RSL. Queda apresenta-se como uma das principais causas de mortes na construção civil, e as pesquisas buscam a aplicação de tecnologias de monitoramento de segurança visando minimizar esse impacto. Fang e Dzung (2017) enfatizam o emprego de IoT (*Internet of Things*), sensores e smartphones como tecnologias possíveis para monitorar o comportamento do trabalhador e detectar condições inseguras, alertando o trabalhador e o supervisor. Fang et al. (2018) propõem o monitoramento a partir de cinturões de segurança e tecnologia de Radio Frequency Identification (RFID). Na mesma linha de abordagem, Kolar, Chen e Luo, (2018) desenvolvem um sistema de monitoramento de segurança em tempo real para identificar ausência de corrimãos em um sistema de proteção existente, alertando o responsável de segurança.

O **monitoramento de segurança** com 10%, ficou em terceiro lugar, destacando a necessidade de adotar novas abordagens, como o uso de veículos e sistemas aéreos não tripulados (DE MELO e COSTA, 2019), assim como o monitoramento e controle dos equipamentos de segurança com a aplicação de sensores RFID (OLIVEIRA e SERRA, 2017). Esta categoria ainda é incipiente, mas com acelerado e crescente interesse.

Com 7%, as **regras de verificação automática**, substituem a verificação tradicional, manual e trabalhosa. Essa abordagem mostra-se muito promissora dentro do processo BIM, principalmente se considerar a dificuldade do gerente de segurança em dominar todos os riscos potenciais em uma zona de trabalho complexa e de grande escala (ZHANG et al., 2015b).

Os **espaços de trabalho** representam o mesmo percentual, 6%, de problemas abordados nas referências da amostra que as quedas. Zhang (2015b) afirma que o planejamento do espaço de trabalho melhora muito a segurança e a produtividade. A abordagem descreve um método que reconhece o espaço de trabalho ativo, obtendo seus parâmetros geométricos e o exibindo no modelo BIM com a finalidade de detectar conflitos de espaciais.

Também com 6%, a **reutilização do conhecimento** aborda a ontologia para armazenar, organizar e reutilizar conhecimento do risco, a fim de integrá-lo em um ambiente de trabalho com melhores práticas e conhecimentos (ZHANG; BOUKAMP; TEIZER, 2015; DING, 2016). Em outra linha, a pesquisa de Tixier (2017) propõe a extração de dados e seu agrupamento hierárquico que pode ser utilizado para identificar associações de atributos de segurança em grandes conjuntos de dados.

Representando 6% da RSL, os **Comportamentos inseguros** são causas de 80% de todos os acidentes na construção, motivo pelo qual Li (2015), Arslan (2018) e Lee (2019) propõem uma segurança proativa baseada no comportamento dos trabalhadores, enquanto que Guo (2014) e Li (2018) propõem a utilização de sensores que detectam comportamentos inseguros.

As **estruturas temporárias** representam 5% da RSL. Sobre esse tema, Kim e Teizer (2014) colocam que na maioria dos projetos existe falta de planejamento antecipado e eficaz das instalações temporárias (incluindo sistemas de andaimes), o que afeta grandemente a segurança do trabalhador. Para avaliar e monitorar a produtividade e o status de segurança dos trabalhadores, Kim e Teizer (2014b) usaram sensores de localização e captura de movimento.

Estudos sobre **maquinários** representam 5%. Hilfert, T (2016) analisa o comportamento dos trabalhadores que realizam tarefas perto de maquinários pesados. Enquanto Cheng, Teizer, (2014), Yihai, Yong e Jingdao (2016) focam na utilização de sensores em tempo real para a reconstrução de movimentos críticos quando da operação das gruas, a fim de evitar a atenuação dos erros humanos durante a operação de elevação.

A **produtividade** representa também 4% da RSL. Forman (2013) alerta sobre a conexão entre Segurança e Produtividade. Lin et al. (2017) aplicaram algumas ferramentas e tecnologias como Last Planner System (LPS), Revit, Sistema Inteligente de Produtividade e Segurança (IPASS) para relacionar essas duas áreas.

Sulankivi (2009) menciona que o planejamento de produtividade em 4D (3D + tempo) é uma oportunidade para integrar o gerenciamento de segurança mais detalhadamente, e que a conexão entre as tarefas e a segurança no modelo 4D serve como uma ferramenta para revisar e avaliar a segurança como parte da produção da construção. Na mesma linha, Zhang e Teizer (2015b) afirmam que a representação e análise 4D de espaços de trabalho podem minimizar o congestionamento, contribuindo assim para o fluxo de trabalho e mantendo a equipe trabalhando de forma segura e produtiva.

Setayeshgar (2013), referindo-se ao ambiente de trabalho, menciona que um ambiente seguro aumenta a moral dos trabalhadores e, portanto, aumenta a produtividade e a qualidade do trabalho. Nesse caso, segurança no trabalho e produtividade se beneficiam mutuamente. Entre as ferramentas que relacionam segurança do trabalho e produtividade está o LPS (*Last Planner System*) de *Lean Construction* que elimina principalmente o retrabalho e foca em um planejamento mais detalhado (FORMAN, 2013). Por outro lado, os modelos 4D e as visualizações do espaço de trabalho suportam a precisão da logística, o que gera um aumento na produtividade e segurança no trabalho (ZHANG et al., 2015c).

O uso de **Equipamentos de proteção Individual (EPI)** apresenta-se com 4% dos artigos. Guo (2014) e Li (2015a) propõem um sistema de alarme para controlar comportamentos inseguros. As pesquisas de Dong, Li e Yin (2018) e Li et al. (2017) centram-se no controle da utilização de EPI e no uso correto do capacete adequado.

Os **fatores de risco** representam 3% dos artigos selecionados. Alguns autores (GUO; LI; LI, 2013; COLLINS et al., 2014; NOWOTARSKI; PASŁAWSKI; MIELCAREK, 2017b) mencionam que o avanço das pesquisas na área têm melhorado a segurança, no entanto, cobrem apenas alguns dos fatores que causam acidentes e é preciso uma análise posterior para conhecer as causas subjacentes que possibilitariam a proposição de possíveis mitigações vinculadas à tecnologia BIM.

A **Capacitação**, com 2%, foca no trabalhador com pouca experiência, indicando que é um obstáculo não só para a produtividade, mas também para a segurança do trabalhador (LI et al., 2015b). A última categoria, com 2%, aborda o alto número de mortes e lesões graves que acontecem em **espaços confinados**.

De acordo com essa categorização, pode-se afirmar que no período de 2007 a 2019 a identificação de Riscos tem recebido atenção crescente por parte dos pesquisadores.

Tecnologias Associadas ao BIM

O Quadro 3 mostra as principais tecnologias associadas à BIM, que foram identificadas nos 97 artigos analisados. Observa-se que parte das tecnologias são utilizadas em mais de uma categoria. Além disso, as tecnologias também foram agrupadas seguindo o ciclo de vida do projeto na qual são empregadas. Segundo PMBOK® (*Project Management*

Bod of Knowledge) (PMI, 2017) um projeto tem 5 fases: inicialização, planejamento, execução, controle e encerramento.

Quadro 3 - Principais tecnologias associadas ao BIM, categorizadas e agrupadas segundo o ciclo de vida do projeto (continua)

Categoria	INICIALIZAÇÃO	PLANEJAMENTO	EXECUÇÃO	MONITORAMENTO	ENCERRAMENTO
Identificação de riscos	Naviswork; (RBS) Risk Breakdown Structure.	Data base de perigos;	Naviswork;	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;	Naviswork;
		Naviswork; (ASRC) Automated Safety Rule Checking;	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; Modelo 4D (3D + Tempo); RFID (Radio Frequency Identification);	RFID (Radio Frequency Identification);	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;
		Modelo 4D (3D + Tempo);	(RBS) Risk Breakdown Structure.	(IoT) internet of things;	4D (3D + Tempo).
	Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)	(RBS) Risk Breakdown Structure.	Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)	(GPS) Global Positioning System.	Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)
Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)		Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)			
Prevenção através do Desenho (PtD)/Desenho para a Segurança (Dfs)	(ASRC) Automated Safety Rule Checking - BIM server;	Dicionário para armazenar sugestões; Biblioteca de conhecimentos de segurança;	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;	(ASRC) Automated Safety Rule; Checking;	Modelo 4D;
	Modelamento 4D (3D + Tempo).	Modelamento 4D (3D + Tempo); Revit; Solibri Model Checker; Tekla Structures;	4D (3D+ Tempo);	4D (3D + Tempo);	Revit;
		ArchiCAD.	Revit; Solibri Model Checker;	Revit; Solibri Model Checker;	Solibri;
			Tekla Structures;	Tekla Structures;	ArchiCAD.
Quedas	(ASRC) Automated Safety Rule Checking	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; RFID (Radio Frequency Identification).	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; RFID (Radio Frequency Identification);	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;	(ASRC) Automated Safety Rule Checking
			Realidade virtual; (CBR) case-based reasoning.	RFID (Radio Frequency Identification).	
Monitoramento de segurança		Revit	Visual Estudio 2010;	Visual Estudio 2010;	Revit
			Revit;	Revit;	
		(UAS) Unmanned Aerial System	Optimus VU.	Optimus VU.	(UAS) Unmanned Aerial System
Verificação de regras	(ASRC) Automated Safety Rule Checking.		(RFID) Radio Frequency Identification; (BBS) Behavior-based safety	(RFID) Radio Frequency Identification; (BBS) Behavior-based safety	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;
		(ASRC) Automated Safety Rule Checking;	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;	

Quadro 3 - Principais tecnologias associadas ao BIM, categorizadas e agrupadas segundo o ciclo de vida do projeto (conclusão)

Categoria	INICIALIZAÇÃO	PLANEJAMENTO	EXECUÇÃO	MONITORAMENTO	ENCERRAMENTO
Espaços de trabalho	-	(SRL) Semantic Role Labeling.	(SRL) Semantic Role Labeling.	(SRL) Semantic Role Labeling.	
		(DVF) Dynamic Virtual Fences;	(RTLS)Real-Time Location System;(DVF) Dynamic Virtual Fences;Modelos 4D;	(RTLS)Real-Time Location System;(DVF) Dynamic Virtual Fences;	(RTLS)Real-Time Location System;
		Modelo 4D.	Sensores de movimento.	Modelos 4D	Modelos 4D
Reutilização do conhecimento de risco	Ontologia; Tecnologia web semântica.	Ontologia;	Tecnologia web semântica;	Captura de informação de quase acidentes.	
		Tecnologia web semântica.	Captura de informação de quase acidentes.		
Comportamentos inseguros		(RFID) Radio Frequency Identification	(RFID) Radio Frequency Identification;(BBS) Behavior-based safety.	(RFID) Radio Frequency Identification; (BBS) Behavior-based safety.	
Estruturas temporárias	-	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; (SPG) scaffolding planning generator; 4D-turba BIM.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; (SPG) scaffolding planning generator; 4D-turba BIM.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; 4D-turba BIM.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking, 4D-turba BIM.
Maquinários Produtividade		4D-turba BIM;	Escaner Laser, (RTLS)Real-Time Location System, Realidade Aumentada, Teleoperação. 4D-turba BIM;	Escaner Laser, (RTLS)Real-Time Location System, Realidade Aumentada, Teleoperação. 4D-turba BIM;	Revit;
Uso de (EPI) Fatores de Risco	(RBS) Risk Breakdown Structure	LPS;Revit;Archicad	LPS;Revit; Archicad	LPS; Revit; Archica.	Archica.
			Sensores de movimento;	(RTLS) Real-Time Location System.	(RTLS) Real-Time Location System.
		(VP) virtual Pototyping; Modelo 4D	(RTLS) Real-Time Location System; (EOP) Eye on Project.		Modelos 4D
			(VP) Virtual Prototyping; Modelos 4D	(VP) Virtual Prototyping; Modelos 4D	
Capacitação	Realidade Virtual;	Realidade Virtual;	Realidade Virtual;	Revit	
	Revit.	Revit.	Revit.		
Espaços confinados	(RBS) Risk Breakdown Structure	(CoSMoS) Confined Space Monitoring System;	(CoSMoS) Confined Space Monitoring System;	(CoSMoS) Confined Space Monitoring System; Realidade Virtual	
		Realidade Virtual	Realidade Virtual		

Fonte: As autoras.

É importante esclarecer que não existe uma definição única e satisfatória de BIM (MIETTINEN; PAAVOLA, 2014). Succar (2009) definiu o BIM como um conjunto de tecnologias, processos e políticas que permitem aos múltiplos interessados de um empreendimento trabalhar de forma colaborativa para projetar, construir e operar uma construção no espaço virtual. Assim, tomando como ponto de partida essa definição, as tecnologias associadas à BIM identificadas não são necessariamente um software, pelo contrário, podem ser diversificadas para dar suporte a um conjunto de processo, como

Last Planner System, Real-Time Location System, plataformas que são usadas para identificar o desenho seguro e automatizar processos.

Identifica-se também uma gama de dispositivos de sensoriamento que trabalham integrando os deslocamentos humanos no canteiro de obras ao ambiente virtual de construção BIM, possibilitando acompanhar em tempo real as zonas de risco

Principais trabalhos futuros classificados por categorias

Foram identificados na RSL lacunas de pesquisa, mencionadas pelos autores (Quadro 4). Destaca-se demandas para validar o desempenho de soluções propostas, seja para obter comportamentos desta na prática ou para analisar a aceitação dos usuários.

Quadro 4 - Principais trabalhos futuros divididos em categorias

Categoria	Demandas a serem desenvolvidas
Identificação de Riscos	Considerar detalhes e atualizações em tempo real das áreas de trabalho, no momento de identificar riscos.
	Criar um banco de dados de risco e extrair atributos de relatórios de lesões.
	Implementar as tecnologias em um caso real e analisar a aceitação por parte dos trabalhadores.
Prevention through Design /Design for Safety	Relacionar a gestão de segurança 3D/4D através do BIM com componentes de construção, equipamentos de produção e estruturas temporárias.
	Monitorar a segurança do trabalho em BIM.
	Usar um modelo 4D para mostrar o progresso diário da construção.
Quedas	Desenvolver um sistema de monitoramento automático que reconheça um comportamento inseguro.
	Usar o modelo BIM para inspecionar a instalação correta de cinto de segurança.
Monitoramento de Segurança	Aplicar o sistema de alerta de risco com base em tempo real para validar seu desempenho.
	Aprofundar estudos sobre a seleção dos limites de uma zona de perigo.
	Ampliar estudos para o monitoramento com RFID para outros tipos de equipamentos e ferramentas, como furadeiras, serras circulares, parafusadeiras, etc., usualmente presentes nos canteiros de obras.
Verificação de regras	Pesquisas futuras precisam medir e avaliar questões de custo e redução de tempo de inspeção resultantes do uso de VANTs para monitoramento de segurança.
	Avaliar a aplicação do verificador de regras em outros tipos de riscos além de quedas.
Espaços de Trabalho	Analisar tecnologias novas e emergentes que podem ser usadas em conjunto com modelos 3D/4D BIM para melhorar a comunicação de segurança.
Reutilizando o conhecimento de risco.	Aprofundar a compatibilidade da ontologia com o BIM existente através do IFC.
Comportamentos inseguros	Realizar um estudo longitudinal de grande escala durante um longo período para medir os efeitos Proactive Behavior-Based Safety (PBBS).
Estruturas temporais	Desenvolver regras mais completas para detectar os sistemas de andaimes necessários a partir da geometria de edifícios complexos.
	Aplicar em estudos de caso com uma variedade de andaimes e outras estruturas temporárias.
Maquinários	Desenhar interfaces de usuário de guias teleoperadas no futuro.
Produtividade	Incluir aspectos da segurança em um modelo de Produtividade 4D.
	Usar modelos dinâmicos 4D.
Uso de EPI	Demonstrar na prática o link de segurança e produtividade.
	Continuar os experimentos do sistema para detecção de uso de EPI (tempo real e sensores), em outros locais de construção, com outros climas para conhecer a precisão do sistema.
	Analisar os fatores que induzem a não utilização de EPI, fatores individuais e fatores contribuintes (condições do local, supervisão, gerenciamento de projetos).
Capacitação	Usar os resultados da análise de risco para treinamento de trabalhadores.

Fonte: As autoras.

Conclusão

O presente artigo, objetivou identificar os estudos existentes sobre *Building Information Modeling* (BIM) aplicados para segurança no trabalho. Para tanto, foram selecionados e analisados 97 estudos em um intervalo de tempo de 2007 a 2019. A amostra analisada constatou um crescimento no número de publicações a partir do ano 2011 e os dados endossam a previsão de que nos próximos anos a frequência de estudos continue em ascensão, intensificando o interesse de pesquisa em BIM e segurança do trabalhador.

Este estudo traçou um panorama mundial das pesquisas com enfoque em BIM e segurança no trabalho. Foi possível identificar 4 estudos na América Latina, gerando atenção para futuras pesquisas nesta área. Justificam-se principalmente porque a atividade da construção civil brasileira foi responsável por 97 mil acidentes no período de 2012 e 2017, sendo um número grande quando comparado à outras indústrias.

A principal contribuição desta pesquisa foi sintetizar os argumentos teóricos, em 15 categorias: (1) Identificação de riscos, (2) Prevention through Design (PtD)/Design for Safety (DfS), (3) verificação de regras, (4) quedas, (5) espaços de trabalho, (6) estruturas temporais, (7) produtividade, (8) maquinários, (9) fatores de risco, (10) reutilização do conhecimento de risco, (11) comportamentos inseguros, (12) uso de equipamento de proteção individual (EPI), (13) monitoramento de segurança, (14) capacitação e (15) espaços confinados. Ademais, estabeleceu-se três abordagens principais para as 15 categorias, sendo elas: as principais problemáticas, as evidências de tecnologias associadas a BIM e, as principais futuras pesquisas.

Foi possível a identificação de tecnologias como verificação automática de regras, localização em tempo real, incorporação de medidas de segurança na simulação 4D, utilização de tecnologias de monitoramento e entre outras. Assim, pôde-se constatar que BIM tem um grande potencial de aplicação para a segurança do trabalho. É necessário, porém, fazer a ressalva que alguns autores apontam para a necessidade de aplicação das tecnologias em estudos de caso para validar o uso e a eficácia.

Evidenciou-se a existência de ligação entre segurança do trabalhador e a produtividade na execução da obra, demonstrando que um ambiente seguro tem influência direta no desempenho do trabalhador. Constatou-se, também que ainda não existem estudos que abordem profundamente o potencial de BIM para o aumento da produtividade junto à segurança do trabalhador.

Pôde-se, também, olhar para lacunas e, assim, identificar algumas necessidades para pesquisas futuras, sendo as principais:

- Implementação das tecnologias para identificação de riscos em casos reais;
- Modelamento 4D do planejamento da segurança, espaços de trabalho e do fluxo do trabalho;
- Desenvolvimento de um sistema de monitoramento automático que reconheça um comportamento inseguro;
- Avaliação da aplicação do verificador de regras;
- Análise dos fatores que induzem a não utilização de EPI.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da bolsa de mestrado.

Notas

- (1) Em 11/02/2020 foi publicado no Diário Oficial da União (Edição 29, Seção 1, Página 21) novo texto da NR. 18 pela PORTARIA SEPRT N° 3.733. Este novo texto tem início de vigência um ano a partir da publicação. Este novo texto não foi considerado neste estudo.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 45.001:2018. Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional - Requisitos com orientação para uso. Brasil, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria MTb no. 3.214 de 8 de junho de 1978. Publica Norma Regulamentadora NR-18: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1978. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-18.pdf. Acesso em: 09 set. 2019.

AHMAD, Z.; THAHEEM, M. J.; MAQSOOM, A. Building information modeling as a risk transformer: An evolutionary insight into the project uncertainty. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 92, n. March, p. 103–119, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.032>

GASPAR, João Alberto da Motta; RUSCHEL, Regina Coeli. A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 21., 2017, Concepción. **Anais[...]**. Concepción: SiGraDi, 2017.

HOSSEINI, M. Reza et al. Analysis of citation networks in building information modeling research. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 8, p. 04018064, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001492](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001492)

MACHADO, Fernanda Almeida; RUSCHEL, Regina Coeli; SCHEER, Sergio. Análise da produção científica brasileira sobre a Modelagem da Informação da Construção. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 359-384, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400202>

MIETTINEN, R.; PAAVOLA, S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 43, p. 84–91, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>

MUNZLINGER, E.; NARCIZO, F. B.; QUEIROZ, J. E. R. de. Sistematização de revisões bibliográficas em pesquisas da área de IHC. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 11., 2012, Porto Alegre. **Proceedings [...]**. Porto Alegre: Brazilian Computer Society, 2012. p. 51–54. Disponível em: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2400099>

PMI - Project Management Institute. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)** 6ed.. 2017. Newton Square, PA: Project Management Institute.

SANTOS, Rúben; COSTA, António A.; GRILLO, António. Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015. **Automation in Construction**, v. 80, p. 118-136, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.005>

SMARTLAB, **Observatório Digital de Saúde e Segurança no Trabalho (MPT-OIT)**, Brasil, 2017. Disponível em: <http://observatoriosst.mpt.mp.br>. Acesso em: 18/08/2018

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>

URRA MEDINA, Eugenia; BARRIA PAILAQUILEN, René Mauricio. A revisão sistemática e a sua relação com a prática baseada na evidência em saúde. **Rev. Latino-Am. Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 18, n. 4, p. 824-831, Aug. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-11692010000400023>.

ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. **Safety Science**, [s. l.], v. 97, p. 88–98, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>

Bibliografia [artigos classificados pela RSL]

- [1] AHMED, Shakil. Causes of Accident at Construction Sites in Bangladesh. **Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal**, v. 11, n. 1, p. 1933-1951, 2019. DOI:<https://doi.org/10.2478/otmcj-2019-0003>
- [2] ARSLAN, Muhammad et al. Spatio-temporal analysis of trajectories for safer construction sites. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 7, n. 1, p. 80-100, 2018. Disponível: <https://hal-univ-bourgogne.archives-ouvertes.fr/hal-01874491>
- [3] ARSLAN, Muhammad; CRUZ, Christophe; GINHAC, Dominique. Visualizing intrusions in dynamic building environments for worker safety. **Safety Science**, v. 120, p. 428-446, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.020>
- [4] ASALM, MD Hossain; ABBOTT, Ernest LS; CHUA, David KH Design for safety knowledge-based bim-integrated risk register system. In: 9th International Structural Engineering and Construction Conference: Resilient Structures and Sustainable Construction, ISEC 2017 - Valencia, Spain. **Anais[...]**. Valencia, Spain: ISECPress 2017, p. 1-6, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819506004>
- [5] BILIR, Senem; GÜRCANLI, G. Emre. A Method For Determination of Accident Probability in Construction Industry. **Teknik Dergi**, v. 29, n. 4, p. 8537-8561, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18400/tekderg.363613>
- [6] CHENG, Tao; TEIZER, Jochen. Modeling tower crane operator visibility to minimize the risk of limited situational awareness. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 28, n. 3, p. 04014004, 2012. DOI:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000282](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000282)
- [7] CHEN, Yi-Chen et al. Attention-based user interface design for a tele-operated crane. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 30, n. 3, p. 04015030, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000489](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000489).
- [8] CHEUNG, Weng-Fong; LIN, Tzu-Hsuan; LIN, Yu-Cheng. A real-time construction safety monitoring system for hazardous gas integrating wireless sensor network and building information modeling technologies. **Sensors**, v. 18, n. 2, p. 436, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18020436>
- [9] CHOE, Sooyoung; LEITE, Fernanda. Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration. **Automation in Construction**, v. 84, p. 335-344, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.007>
- [10] COLLINS, Rachel et al. Integration of safety risk factors in BIM for scaffolding construction. In: Computing in Civil and Building Engineering (2014). **Anais[...]**. ©ASCE 2014. p. 307-314. Disponível em: <http://itc.scix.net/pdfs/w78-2014-paper-039.pdf>
- [11] DE MELO, Roseneia RS et al. Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. **Safety science**, v. 98, p. 174-185, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.008>
- [12] DE MELO, Roseneia RS et al. Analysis of the potential use of point cloud collected from uas for bim modeling and safety systems analysis. In: 6th international workshop - When Social Sciences meets Lean and BIM 2018. **Anais[...]**. University of Huddersfield, Huddersfield, Reino Unido 2018
- [13] DE MELO, Roseneia RS; COSTA, Dayana B. Integrating resilience engineering and UAS technology into construction safety planning and control. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2018-0541>
- [14] DING, L. Y. et al. Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. **Safety science**, v. 87, p. 202-213, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008>
- [15] DING, L. Y. et al. Real-time safety early warning system for cross passage construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel based on the internet of things. **Automation in construction**, v. 36, p. 25-37, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.017>

- [16] DONG, Shuang; LI, Heng; YIN, Qin. Building information modeling in combination with real time location systems and sensors for safety performance enhancement. **Safety science**, v. 102, p. 226-237, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.011>
- [17] ESMAEILI, Behzad; HALLOWELL, Matthew. Attribute-based risk model for measuring safety risk of struck-by accidents. In: Construction Research Congress. American Society of Civil Engineers West Lafayette, Indiana, 2012. **Anais[...]**. © ASCE 2012. p. 289-298. DOI: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784412329.030>
- [18] FANG, Weili et al. Falls from heights: A computer vision-based approach for safety harness detection. **Automation in Construction**, v. 91, p. 53-61, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.018>
- [19] FANG, Yi-Cho; DZENG, Ren-Jye. Accelerometer-based fall-portent detection algorithm for construction tiling operation. **Automation in Construction**. v. 84, p. 214-230, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.015>
- [20] FANG, Yihai; CHO, Yong K.; CHEN, Jingdao. A framework for real-time pro-active safety assistance for mobile crane lifting operations. **Automation in Construction**, v. 72, p. 367-379, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.025>
- [21] FANG, Qi et al. Computer vision aided inspection on falling prevention measures for steeplejacks in an aerial environment. **Automation in Construction**, v. 93, p. 148-164, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.022>
- [22] FORMAN, Marianne. Inertia and change: lean construction and health and safety work on construction sites. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 6, p. 647-660, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.765953>
- [23] GETULI, Vito et al. BIM-based code checking for construction health and safety. **Procedia engineering**, v. 196, p. 454-461, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.224>
- [24] GHEISARI, Masoud; ESMAEILI, Behzad. Applications and requirements of unmanned aerial systems (UASs) for construction safety. **Safety Science**, v. 118, p. 230-240, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.05.015>
- [25] GOH, Yang Miang; GUO, Brian HW. FPSWizard: A web-based CBR-RBR system for supporting the design of active fall protection systems. **Automation in Construction**, v. 85, p. 40-50, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.020>
- [26] GOLABCHI, Alireza; HAN, SangUk; ABOURIZK, Simaan. A simulation and visualization-based framework of labor efficiency and safety analysis for prevention through design and planning. **Automation in Construction**, v. 96, p. 310-323, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.001>
- [27] GOLOVINA, Olga; TEIZER, Jochen; PRADHANANGA, Nipesh. Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment. **Automation in construction**, v. 71, p. 99-115, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.008>
- [28] GOLOVINA, Olga et al. Algorithm for quantitative analysis of close call events and personalized feedback in construction safety. **Automation in Construction**, v. 99, p. 206-222, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.014>
- [29] GUO, H. et al. A BIM-RFID unsafe on-site behavior warning system. In: Proceedings of the International Conference on Construction and Real Estate Management (ICCREM 2014), Kunming, China, 2014. **Anais[...]**. © ASCE 2014. p. 330-339. DOI: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413777.040>
- [30] GUO, H. L.; LI, Heng; LI, Vera. VP-based safety management in large-scale construction projects: A conceptual framework. **Automation in Construction**, v. 34, p. 16-24, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.013>
- [31] HAMMAD, Amin et al. Automatic generation of dynamic virtual fences as part of BIM-based prevention program for construction safety. In: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC), 9-12 December

2012, Berlin, Germany. **Anais[...]**. Berlin, Germany: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2013. p. 1-10. Doi : <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2012.6465164>

[32] HARDISON, Dylan; HALLOWELL, Matthew. Identifying Safety Hazards in Design: Evaluating the Difference between BIM and 2D CAD Drawings. In: Construction Research Congress, New Orleans, Louisiana. 2018 **Anais[...]**. © ASCE 2015. p. 154-163. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784481288.016>

[33] HILFERT, Thomas; TEIZER, Jochen; KÖNIG, Markus. First person virtual reality for evaluation and learning of construction site safety. In: ISARC. 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction. **Anais[...]**. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2016. p. 1.

[34] HONGLING, Guo et al. BIM and safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction. **Procedia engineering**, v. 164, p. 467-472, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.646>

[35] HOSSAIN, Md Aslam et al. Design-for-safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. **Automation in Construction**, v. 94, p. 290-302, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.010>

[36] KAMARDEEN, Imriyas. 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. In: 26th Annual ARCOM Conference, 6-8 September 2010.. **Anais[...]**. Leeds: Association of Researchers in Construction Management, 2010. p. 281-289.

[37] KASIROSSAFAR, Mohammad; ARDESHIR, Abdollah; SHAHANDASHTI, Reza Latifi. Developing the sustainable design with PtD using 3D/4D BIM Tools. In: Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress 2012. **Anais[...]**. © ASCE 2012. p. 20-24. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412312.279>

[38] KASIROSSAFAR, Mohammad; SHAHBODAGHLOU, Farzad. Application of Visualization Technologies to the Design for Safety Concept. In: Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow. 2013. **Anais[...]**. © ASCE. 2012. p. 370-377. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412640.040>

[39] KASIROSSAFAR, Mohammad; SHAHBODAGHLOU, Farzad. Building information modeling or construction safety planning. In: ICSDC 2012: Developing the Frontier of Sustainable Design, Engineering, and Construction. 2013.. **Anais[...]**. © ASCE, 2013. p. 1017-1024. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412688.120>

[40] KHAN, Numan et al. Excavation Safety Modeling Approach Using BIM and VPL. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/1515808>

[41] KIM, Hyunsoo et al. Automated hazardous area identification using laborers' actual and optimal routes. **Automation in Construction**, v. 65, p. 21-32, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.01.006>

[42] KIM, Hyeon Jin; PARK, Chan Sik. Smartphone based real-time location tracking system for automatic risk alert in building project. In: Applied Mechanics and Materials. **Anais[...]**. Trans Tech Publications, 2013. p. 2794-2797. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.2794>

[43] KIM, Jonghoon et al. Semiautomated scaffolding planning: development of the feature lexicon for computer application. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 29, n. 5, p. 04014079, 2014. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000399](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000399)

[44] KIM, K.; CHO, Y.; ZHANG, S. Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. **Automation in Construction**, v. 70, p. 128-142, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.012>

[45] KIM, K.; TEIZER, J. Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. **Advanced Engineering Informatics**, v. 28, n. 1, p. 66-80, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2013.12.002>

[46] KIVINIEMI, Markku et al. BIM-based safety management and communication for building construction. **VTT Technical Research Centre of Finland**, 2011. Disponível em: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2597.pdf>

- [47] KOLAR, Z.; CHEN, H.; LUO, X. Transfer learning and deep convolutional neural networks for safety guardrail detection in 2D images. **Automation in Construction**, v. 89, n. May 2017, p. 58–70, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.003>
- [48] LEE, Pin-Chan et al. Dynamic Analysis of Construction Safety Risk and Visual Tracking of Key Factors based on Behavior-based Safety and Building Information Modeling. **KSCIE Journal of Civil Engineering**, p. 1-13, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-019-0283-z>
- [49] LI, Binyong et al. Research on Engineering Construction Safety Integration based on BIM and RFID. In: MATEC Web of Conferences 2018. **Anais[...]**. EDP Sciences, 2018. p. 03035. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824603035>
- [50] LI, H. et al. Investigation of the causality patterns of non-helmet use behavior of construction workers. **Automation in Construction**, v. 80, p. 95–103, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.006>
- [51] LI, H. et al. Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement. **Safety Science**, v. 75, p. 107–117, 2015. a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.013>
- [52] LI, Heng et al. Proactive training system for safe and efficient precast installation. **Automation in Construction**, v. 49, p. 163-174, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.010>
- [53] LI, Xiao et al. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. **Automation in Construction**, v. 86, p. 150-162, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- [54] MALEKITABAR, Hassan et al. Construction safety risk drivers: A BIM approach. **Safety Science**, v. 82, p. 445-455, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.002>
- [55] MELZNER, Jürgen. Acquisition and processing of input data for an object—Oriented safety risk simulation in building construction. In: 2017 Winter Simulation Conference (WSC). **Anais[...]**. Crystal City, VA: IEEE, 2017. p. 2425-2435 DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2017.8247972>
- [56] MELZNER, Jürgen et al. A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 6, p. 661-674, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>
- [57] MELZNER, Jürgen et al. Model-based construction work analysis considering process-related hazards. In: 2013 Winter Simulations Conference (WSC). **Anais[...]**. Washington, DC, USA: IEEE, 2013. p. 3203-3214. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6721686>
- [58] MESAROS, P.; SPISAKOVA, M.; MACKOVA, D. Analysis of safety risks on the construction site. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais[...]**. IOP Publishing, 2019. p. 012012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/222/1/012012>
- [59] NIU, Yuhan et al. Towards the “third wave”: An SCO-enabled occupational health and safety management system for construction. **Safety science**, v. 111, p. 213-223, 2019 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.013>
- [60] NOWOTARSKI, Piotr; PASŁAWSKI, Jerzy; MIELCAREK, Dawid. Accuracy of BLE systems in the H&S improvement aspects in construction. **Procedia Engineering**, v. 208, p. 98-105, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.026>
- [61] OLIVEIRA, Victor Hugo Mazon de; SERRA, Sheyla Mara Baptista. Controle de obras por RFID: sistema de monitoramento e controle para equipamentos de segurança no canteiro de obras. **Ambient constr**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 61-77, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400185>
- [62] PARK, Chan-Sik; KIM, Hyeon-Jin. A framework for construction safety management and visualization system. **Automation in Construction**, v. 33, p. 95-103, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.012>

- [63] PARK, JeeWoong; KIM, Kyungki; CHO, Yong K. Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 2, p. 05016019, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001223](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001223)
- [64] PARN, Erika A. et al. Engineering-out hazards: digitising the management working safety in confined spaces. **Facilities**, v. 37, n. 3/4, p. 196-215, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/F-03-2018-0039>
- [65] QI, Jia et al. Integration of safety in design through the use of building information modeling. In: Reston, VA: ASCE Proceedings of the 2011 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, Miami, Florida, June 19-22, 2011 | d 20110000.). **Anais[...]**, Miami, Florida, USA: American Society of Civil Engineers, 2011. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/41182\(416\)86](http://dx.doi.org/10.1061/41182(416)86)
- [66] QI, Jia et al. Use of building information modeling in design to prevent construction worker falls. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 28, n. 5, p. A4014008, 2013. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000365](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000365)
- [67] QI, Jia. Integration of construction worker fall safety in design through the use of building information modeling. **University of Florida**, 2011. Disponível em: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-981-287-655-3_11.pdf
- [68] RIAZ, Zainab et al. CoSMoS: A BIM and wireless sensor based integrated solution for worker safety in confined spaces. **Automation in construction**, v. 45, p. 96-106, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.010>
- [69] SAKHAKARMI, Sayan; PARK, JeeWoong; CHO, Chunhee. Enhanced Machine Learning Classification Accuracy for Scaffolding Safety Using Increased Features. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 2, p. 04018133, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001601](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001601)
- [70] SETAYESHGAR, S. et al. Real time safety risk analysis of construction projects using BIM and RTLS. In: ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction. **Anais[...]**. IAARC Publications, 2013. p. 1.
- [71] SHARMANOV, V. V.; SIMANKINA, T. L.; MAMAEV, A. E. BIM in the assessment of labor protection. **Magazine of Civil Engineering**, v. 69, n. 1, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18720/MCE.69.7>
- [72] SHEN, X.; MARKS, E. Near-Miss Information Visualization Tool in BIM for Construction Safety. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 4, 2016. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001100](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001100)
- [73] TANG, Shuai; GOLPARVAR-FARD, Mani. Joint Reasoning of Visual and Text Data for Safety Hazard Recognition. **Computing in Civil Engineering 2017. Anais[...]**. Seattle, Washington, USA: ASCE 2017, p. 450-457. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784480847.056>
- [74] SULANKIVI, Kristiina; MAKELA, T.; KIVINIEMI, Markku. BIM-based site layout and safety planning. In: First International Conference on Improving Construction and Use through Integrated Design Solutions 2019. **Anais[...]**. 2009. p. 125-140. Disponível em: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB16678.pdf>
- [75] TAKIM, Roshana; ZULKIFLI, Muhammad Hanafi; NAWAWI, Abdul Hadi. Integration of automated safety rule checking (asrc) System for safety planning BIM-based projects in Malaysia. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 222, p. 103-110, 2016.: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.195>
- [76] TEIZER, Jochen; CHENG, Tao. Proximity hazard indicator for workers-on-foot near miss interactions with construction equipment and geo-referenced hazard areas. **Automation in Construction**, v. 60, p. 58-73, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.003>
- [77] TEO, Ai Lin Evelyn et al. Design for safety: theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index. **Construction Economics and Building**, v. 16, n. 4, p. 1-1, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5130/AJCEB.v16i4.4873>

- [78] TEO AI LIN, Evelyn et al. Framework for productivity and safety enhancement system using BIM in Singapore. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 24, n. 6, p. 1350-1371, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0122>
- [79] TIXIER, A. J.-P. et al. Application of machine learning to construction injury prediction. *Automation in Construction*, v. 69, p. 102–114, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.016>
- [80] TIXIER, A. J.-P. et al. Construction Safety Clash Detection: Identifying Safety Incompatibilities among Fundamental Attributes using Data Mining. *Automation in Construction*, v. 74, p. 39–54, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.001>
- [81] TRIANTAFYLLOU, Dimitra; KRINIDIS, Stelios. A real-time, multi-space incident detection system for indoor environments. *Safety and Security Studies*, p. 83, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2495/SAFE-V8-N2-266-275>
- [82] UMER, Waleed et al. Development of a tool to monitor static balance of construction workers for proactive fall safety management. *Automation in Construction*, v. 94, p. 438-448, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.024>
- [83] WANG, J.; ZHANG, S.; TEIZER, J. Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling. *Automation in Construction*, v. 49, p. 250–261, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.09.002>
- [84] WANG, Qian. Automatic checks from 3D point cloud data for safety regulation compliance for scaffold work platforms. *Automation in Construction*, v. 104, p. 38-51, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.008>
- [85] WANG, Ting-Kwei; QIN, Chang. Integration of BIM, Bayesian Belief Network, and Ant Colony Algorithm for Assessing Fall Risk and Route Planning. In: *Construction Research Congress 2018. Anais[...]*. Nueva Orleans, Louisiana, USA: ASCE. 2010. p. 207-220. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784481288.021>
- [86] WETZEL, Eric M.; THABET, Walid Y. A case study towards transferring relevant safety information for facilities maintenance using BIM. 2018. Disponível em: <http://www.itcon.org/2018/3>
- [87] XU, Qingwen; CHONG, Heap-Yih; LIAO, Pin-Chao. Collaborative information integration for construction safety monitoring. *Automation in Construction*, v. 102, p. 120-134, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.004>
- [88] XU, Sheng; ZHANG, Mengge; HOU, Lei. Formulating a learner model for evaluating construction workers' learning ability during safety training. *Safety science*, v. 116, p. 97-107, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.002>
- [89] YUAN, Jingfeng et al. Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. *Automation in Construction*, v. 102, p. 86-104, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015>
- [90] ZHANG, Sijie et al. A framework for automatic safety checking of building information models. In: *Construction Research Congress. ASCE West Lafayette, IN, USA, 2012. Anais[...]*. ASCE West Lafayette, IN, USA, 2012 p. 574-581. DOI: <http://dx.doi.org/10.1061/9780784412329.058>
- [91] ZHANG, S. et al. BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, v. 72, p. 31–45, 2015. a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- [92] ZHANG, S. et al. Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. *Automation in Construction*, v. 29, p. 183–195, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- [93] ZHANG, S. et al. Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. *Automation in Construction*, v. 60, p. 74–86, 2015. b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.009>

[94] ZHANG, S.; BOUKAMP, F.; TEIZER, J. Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). **Automation in Construction**, v. 52, p. 29–41, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.005>

[95] ZHUANG, R. L. et al. Investigating Safety Passage Planning for System Shoring Supports with BIM. In: ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction. **Anais[...]**. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2016. p. 1.

[96] ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects. **Engineering, Construction and Architectural Management** v. 23, n. 6, p. 727–750, 2016 DOI:<http://dx.doi.org/10.1108/ECAM-01-2016-0009>

[97] ZULKIFLI, M. H.; TAKIM, R.; NAWAWI, A. H. A proposed initial framework of ASRC system for BIM-based projects in Malaysia. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 5–2, p. 61–67, 2016 DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8491>

¹ **Lisseth Rocio Espinoza Taype**

Engenheira Civil. Mestranda na Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Endereço postal: Rua Paschoal Marmo, 1888, Limeira, SP, Brasil, 13484332

² **Eloisa Dezen-Kempter**

Arquiteta e Urbanista. Professor Doutor da Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Endereço postal: R. Paschoal Marmo, 1888, Limeira, SP, Brasil, 13484332